



---

# PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

---

PROYECTO  
COLABORATIVO

TECNO TC-05

Cervelo Martínez, Ricardo  
García Ocampo, Juan José  
Riveiro Cedeira, Carlos  
Rey Barreiro, Xabier  
Larguet Bueno, Tomás

---

Vigo a 26 de abril de 2019

## Índice

1. Introducción .....	2
2. Objetivo .....	2
3. Desarrollo del proceso .....	3
3.1 Upstream.....	3
2.2 Reactor .....	3
2.3 Downstream.....	4
3.1.1 Tratamiento del biogás .....	4
3.1.2 Tratamiento del digestato:.....	4
4. Estructura y equipos.....	4
4.1 Tanque de almacenamiento.....	5
4.2 Digestor .....	7
5. Control del proceso .....	10
5.1 Temperatura.....	10
5.2 Tiempo de retención hidráulico (TRH) .....	10
5.3 pH.....	10

## 1. Introducción

El cambio climático es uno de los principales problemas que afecta directamente a todo el planeta Tierra hoy en día. Del mismo modo, la gestión de residuos también es un grave problema debido a la contaminación que puede generar si esta no se realiza adecuadamente.

Para llevar a cabo este trabajo, se ha realizado una encuesta previa para comprobar el nivel de preocupación social existente respecto a los problemas que se acaban de mencionar y, por otro lado, conocer el nivel de información acerca de las posibles alternativas y soluciones ante tal difícil situación. Los resultados obtenidos ratifican lo previsible: el cambio climático y sus consecuencias son preocupaciones de primer orden y existe un convencimiento sobre la necesidad de tomar medidas serias para atacar tal problema. No obstante, todavía hay trabajo por hacer a nivel divulgativo, ya que varias alternativas de producción energética sostenibles no gozan de la popularidad suficiente.

Es el caso del biogás, desconocido por mucha gente, y cuya producción es el tema de este proyecto. El biogás se puede obtener por diferentes vías, tales como:

- ❖ Residuos de plantas de biocombustibles
- ❖ Residuos orgánicos generados en una granja
- ❖ Residuos de la industria alimentaria
- ❖ Lodos de una EDAR
- ❖ Residuos sólidos urbanos

La solución propuesta por el equipo de trabajo es la producción de biogás a partir de residuos orgánicos procedentes de una granja bovina. Dicha elección se ha tomado teniendo en cuenta los siguientes puntos a favor:

- ❖ Es una de las tres vías más eficientes para la producción de biogás
- ❖ Existe un importante sector ganadero a nivel local y autonómico
- ❖ Permite un flujo de energía cíclico: la producción de energía subsana parte del consumo energético de la propia granja
- ❖ Facilidad de implantación
- ❖ Mínimo coste de transporte de la materia prima: los residuos orgánicos generados en la granja se tratan in situ
- ❖ Calidad del biogás obtenido

La utilización del biogás para producir energía es una alternativa muy interesante frente al uso de gas natural por varias razones. En primer lugar, tiene un impacto medioambiental menor debido a la menor producción de gases de efecto invernadero durante el proceso. Por otro lado, mientras que el gas natural procede de materia orgánica en descomposición durante millones de años, el biogás se puede producir a partir de diferentes tipos de materia orgánica en varios días. Por lo tanto, se consigue un doble beneficio para el medio ambiente: por un lado, se reduce el consumo de un combustible fósil como es el gas natural y, por otro lado, se valorizan los residuos orgánicos generados en la granja.

## 2. Objetivo

El objetivo de este proyecto es el diseño de una planta de producción de biogás como propuesta de solución eficaz e interesante frente al consumo de combustibles fósiles y energías no renovables que contribuyen al cambio climático. Además, con esta medida se consigue también

una valorización de residuos orgánicos, reduciendo así el impacto contaminante con el medio que pueden llegar a tener este tipo de residuos.

### 3. Desarrollo del proceso

La producción de biogás está basada en un proceso biotecnológico. Un proceso biotecnológico implica el uso de microorganismos que propician la reacción de transformación de los reactivos en productos. Además, el proceso debe constar de varias etapas. Estas etapas se corresponden con un *upstream*, el reactor y el *downstream*.

#### 3.1 Upstream

El *upstream* de los procesos biotecnológicos consiste en la etapa de adecuación de los reactivos a las condiciones necesarias para que transcurra la reacción de forma correcta.

En este caso, esta etapa consta de varios pretratamientos a la materia orgánica que se recibe de la granja.

- ❖ El pretratamiento mecánico es útil para reducir el tamaño de partícula de la materia orgánica, favoreciendo así los tratamientos posteriores y ayudando a que ocurra la reacción.
- ❖ El pretratamiento térmico se realiza para facilitar la degradación de macromoléculas. Además, solubiliza la materia orgánica y la esteriliza, pero sin llegar a provocar la muerte térmica de las bacterias que esta lleva y que realizan la reacción.
- ❖ El pretratamiento químico se lleva a cabo el ajuste del pH para adecuarlo a las condiciones de la reacción (pH entre 6,5 y 7,5) y se degradan las macromoléculas de la materia orgánica.
- ❖ El pretratamiento biológico se realiza porque es necesaria la degradación de otros compuestos que no son necesarios para la reacción y, además, se añaden enzimas y microorganismos que faciliten la reacción.

#### 2.2 Reactor

En el reactor transcurre toda la reacción de degradación de la materia orgánica. Esta degradación transcurre en varias etapas, siendo necesarias varios tipos de bacterias diferentes (todas las bacterias están en la materia orgánica). Para mantener un mismo nivel de bacterias es necesaria una recirculación del digestato que sale del reactor a la entrada del mismo.

Las etapas de la reacción son:

- ❖ Hidrólisis: en esta etapa, las macromoléculas se hidrolizan para formar micromoléculas que son más sencillas de tratar. Las bacterias que realizan esta etapa son bacterias hidrolíticas-acidogénicas.
- ❖ Acidogénesis: para poder producir el metano es necesario que las micromoléculas sean tratadas para formar ácidos. Esto se consigue con bacterias acidogénicas y homoacetogénicas, que transforman esas micromoléculas en ácido acético, entre otros.
- ❖ Metanogénesis: la última etapa de la reacción consiste en la transformación del ácido acético en metano y dióxido de carbono, mayoritariamente. Las bacterias encargadas de esta etapa son bacterias metanogénicas hidrogenófilas y acetoclásticas.

La reacción se realiza a diferentes temperaturas durante un tiempo, conocido como tiempo de retención hidráulica. Este tiempo es de 23 días aproximadamente. La reacción empieza a 35°C y acaba a 60°C.

### 2.3 Downstream

En cuanto al *downstream*, se puede decir que es una etapa de purificación de las corrientes de salida del reactor, para su posterior uso.

El proceso de producción de biogás tiene dos principales tratamientos de purificación.

#### 3.1.1 Tratamiento del biogás

este tratamiento consta de varias operaciones unitarias para conseguir las condiciones deseadas para el biogás. En primer lugar, se realiza una filtración al biogás para eliminar partículas sólidas en suspensión. Posteriormente, se introduce el biogás en una columna de adsorción, donde el biogás se hace pasar por una columna con adsorbente para eliminar tanto el CO<sub>2</sub> como el SH<sub>2</sub>, que son contaminantes.

#### 3.1.2 Tratamiento del digestato:

este tratamiento es importante, ya que si se consigue un digestato bien purificado se puede utilizar como materia prima para la producción de fertilizante. Es importante decir que no todo el digestato que sale del reactor se lleva a purificar. Esto ocurre porque ese digestato contiene una serie de microorganismos que son útiles para la reacción, y es por esto que ese digestato se recircula a la entrada del reactor. El digestato no recirculado se lleva a una etapa de extracción sólido-líquido, que hace posible los tratamientos posteriores, ya que facilita el manejo del digestato. A continuación, se realiza una recuperación de nutrientes mediante una operación conocida como precipitación. Estos nutrientes se recuperan para un uso aparte. Para finalizar, el digestato se lleva a eliminación de nutrientes donde sufre una nitrificación-desnitrificación. Esto es útil para recuperar macronutrientes y evitar contaminación por la existencia de ellos (por ejemplo, contaminación por nitratos).

Tras la purificación del biogás y del digestato, ambos pueden emplearse para su uso específico. En este caso el biogás el producto considerado más valioso, ya que se utiliza para la producción de energía debido a su alto poder calorífico y menor emisión de gases contaminantes que el gas natural. No obstante, cabe destacar que el digestato purgado se puede utilizar como materia prima para la producción de fertilizantes o compost, aunque no se detalle en el proyecto.

## 4. Estructura y equipos

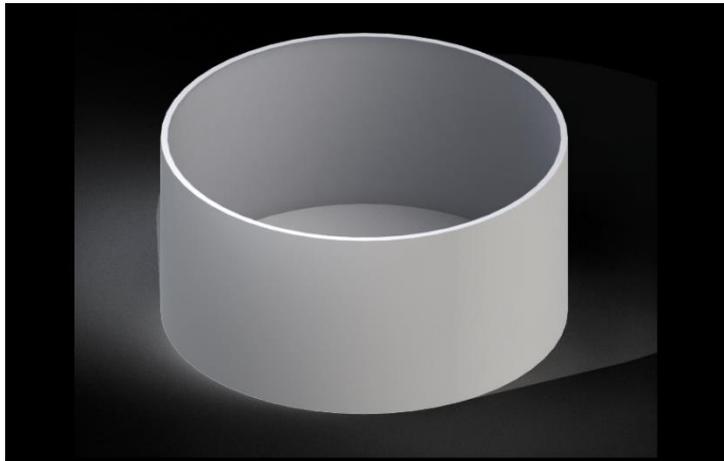
En el proceso de producción de biogás destacan dos equipos: el tanque de almacenamiento del purín y el digestor. Para llevar a cabo su dimensionamiento y simulación se ha partido de los datos estimados que se observan en la *Tabla 1*

*Tabla.1. Datos de partida para diseño de los equipos.*

Vacas productoras	150	Biogás (m <sup>3</sup> biogás/kg estiércol)	0,036
Peso (kg)	575	Residuos orgánicos totales (kg/día)	5850
Residuos orgánicos (kg/día y vaca)	30	Agua necesaria (kg/día)	5850
Terneras	150	Densidad purín (kg/m <sup>3</sup> )	1000,29
Peso (kg)	150	Biogás producido (m <sup>3</sup> /día)	210
Residuos orgánicos (kg/día y vaca)	9	T <sub>residencia</sub> (días)	23,41

#### 4.1 Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento o depósito de purines (*Fig1.*) es la estructura encargada de la acumulación de la materia orgánica generada en la granja.

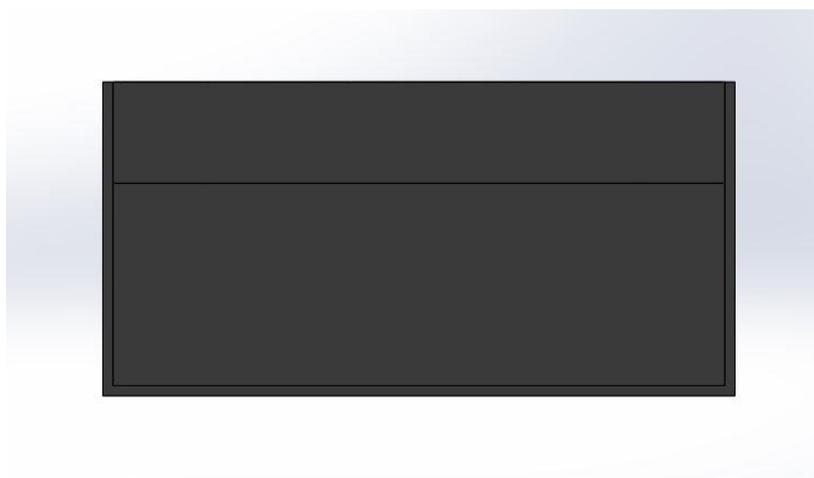


*Fig.1. Tanque de almacenamiento.*

El material utilizado para su construcción es hormigón obtenido a partir de cemento Portland. De acuerdo con los cálculos realizados, se ha obtenido una estructura con unas características y dimensiones detalladas en la siguiente tabla (*Tabla2*):

*Tabla2. Características del tanque de almacenamiento.*

Volumen (m <sup>3</sup> )	55
Peso en vacío (tn)	13
Diámetro externo (m)	6,2
Altura (m)	3,1
Espesor (cm)	12



*Fig.2. Vista parcial del depósito.*

Con el objetivo de garantizar la seguridad del proceso, el tanque se somete un estudio estático (Fig.3.) con cargas equivalentes a la capacidad máxima del mismo (55 m<sup>3</sup>).

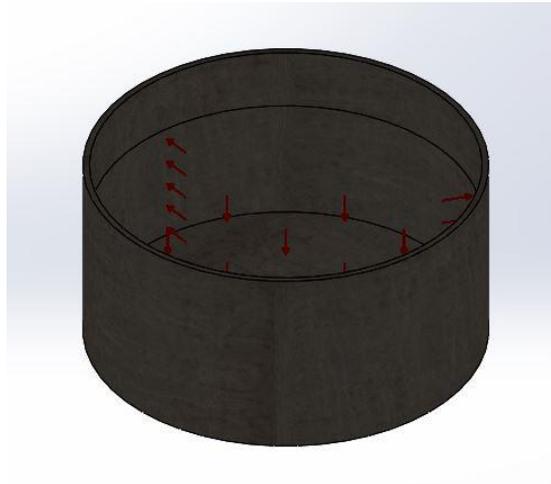


Fig.3. Estudio estático del depósito.

Los resultados de la simulación se puede visualizar en las imágenes que se muestran a continuación (Fig.4 y Fig.5):

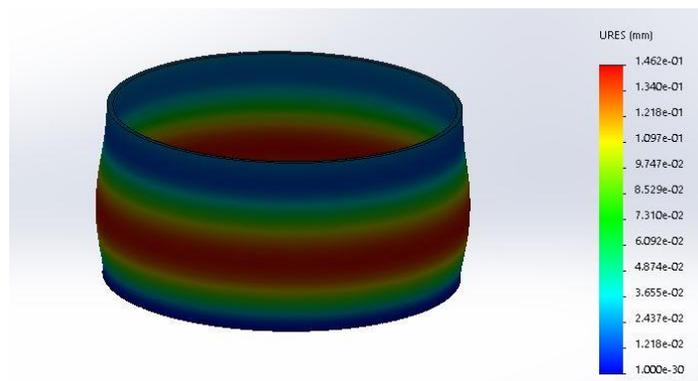


Fig.4. Resultados de desplazamientos en mm.

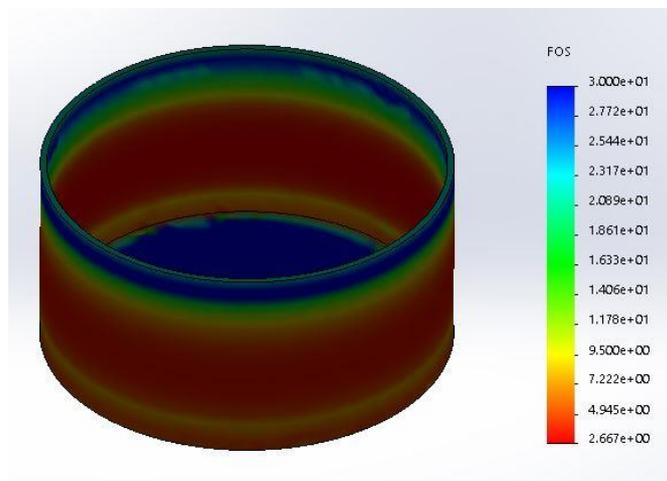
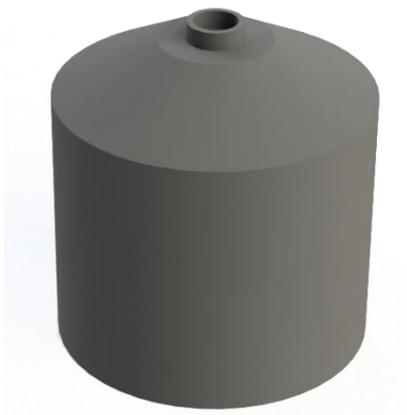


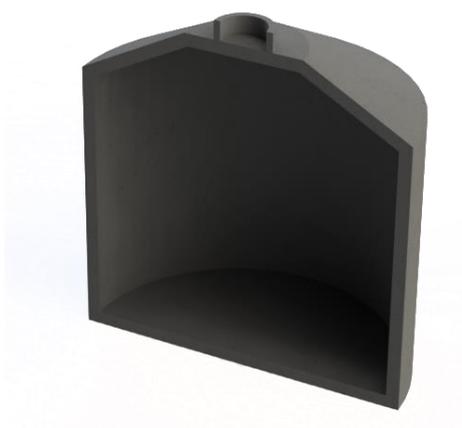
Fig.5. Coeficiente de seguridad V.M.

## 4.2 Digestor

El digestor (*Fig.5 y Fig.6*) es el equipo más importante de todo el proceso. Se trata de un digestor anaerobio (sin oxígeno) donde se lleva a cabo la reacción de transformación de materia orgánica a biogás.



*Fig.6. Digestor.*



*Fig.7. Interior del digestor.*

Este digestor está fabricado con un material de hormigón que se obtuvo a partir de cemento Portland de alta resistencia. En la tabla (*Tabla 3*) que se muestra a continuación aparecen una serie de características y dimensiones del digestor en cuestión.

*Tabla.3. Características del digestor.*

Volumen (m <sup>3</sup> )	230
Peso en vacío (t)	180
Diámetro externo (m)	7,05
Altura (m)	7,25
Espesor (cm)	30

La configuración del digestor se muestra en la imagen siguiente (*Fig.8*). Además, también se muestran las dimensiones del reactor (*Fig.9*).

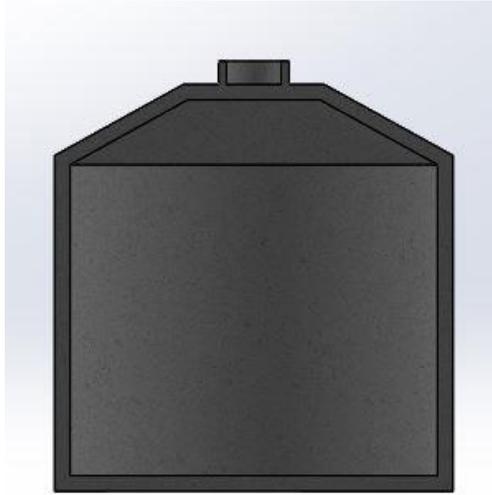


Fig.8. Configuración del digestor

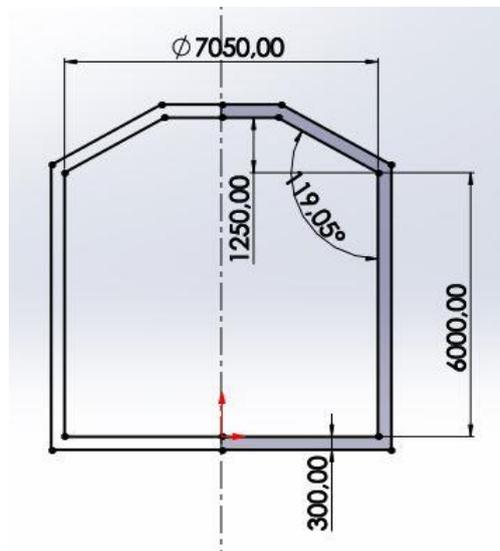


Fig.9. Dimensiones del digestor.

Del mismo modo que con el tanque de almacenamiento, la estructura del digestor se somete a un estudio estático (Fig.10.) con una presión de 2,5 MPa en el interior (durante un desarrollo normal del proceso de reacción la presión no debería superar los 2 Mpa).

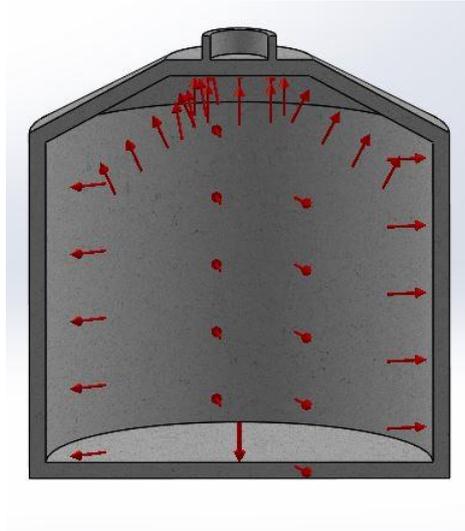


Fig.10. Estudio estático del digestor.

Los resultados de la simulación se puede visualizar en las imágenes que se muestran a continuación (Fig.4 y Fig.5):

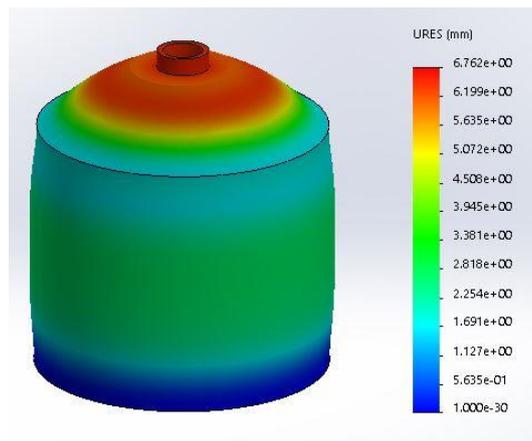


Fig.11. Resultados de desplazamientos en mm.

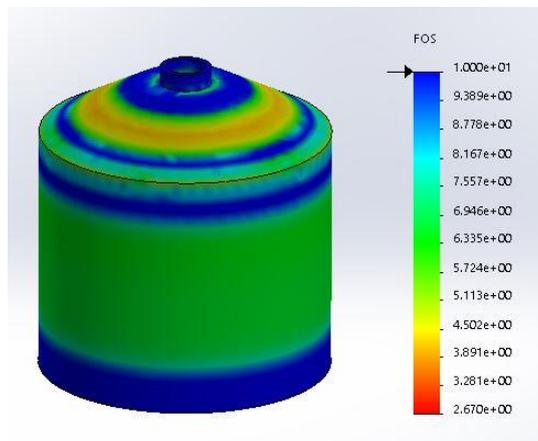


Fig.12. Coeficiente de seguridad V.M.

Cabe destacar que en las simulaciones con los equipos se ha aplicado un coeficiente de escalado para poder apreciar bien la deformada.

## 5. Control del proceso

Se ha realizado la programación de un programa en Python que permite llevar a cabo el control de distintas variables importantes dentro del digestor. El control de estas variables es importante, pues una variación de las misma podría provocar problemas durante el proceso de reacción y ocasionar pérdida de calidad en el biogás final. Los cambios de estas variables también podrían generar daños en los equipos.

El programa mostrado a continuación permite realizar el control de tres variables diferentes:

### 5.1 Temperatura

Esta debe permanecer siempre en 35 y 60°C. Además, debe ir ascendiendo a medida que pasa el tiempo, para que se puedan realizar las distintas fases de la reacción correctamente. Empezará a 35°C el primer día, e irá ascendiendo hasta llegar a 60°C el último día, pasados los 23 necesarios para el tiempo de retención hidráulico. Es importante el control de la temperatura, ya que un exceso puede provocar la muerte térmica de los microorganismos, impidiendo que se lleve a cabo la reacción.

### 5.2 Tiempo de retención hidráulico (TRH)

Esta variable se calcula para saber el número de días que debe pasar la materia orgánica desde que entra al digestor hasta que acaba de reaccionar, dentro de él, para formar biogás. Se puede saber su valor sabiendo el volumen del digestor y el caudal de entrada al mismo.

### 5.3 pH

El control de esta variable es necesario para asegurar la actividad y la supervivencia de las bacterias enzimas que hay en la materia prima. Con un valor fuera del rango necesario, se produciría la muerte o desactivación de los microorganismos necesarios para transformar materia orgánica en biogás.

A continuación, se muestra el código del programa:

```
#temperatura (que varía entre 35 y 60)
#tiempo de retención hidráulico (TRH, de 23 días aprox)
#ph (debe estar entre 6,5 y 7,5)

#BIOGAS

def Comp(mensaje,l1,l2,sol):

    digestor=[] #Aquí introduciré en una lista todos los datos pedidos por el programa.

    n=1 #establezco una variable fija para hacer el bucle.

    while n==1:

        try:

            temp=float(input(mensaje)) #pido un numero de tipo float (decimal o entero) y en caso de que no lo sea
```

```
break #le indico el error y lo pido hasta que sea
un número .
```

```
except:
```

```
ValueError
```

```
print("Tiene que ser un número")
```

```
while temp<l1 or temp>l2: #Establezco los límites y repito
lo anterior por si no coincide dentro de los límites.
```

```
print(" Los datos obtenidos no entran dentro de los límites estudiados (por favor entre {} y
{}). ".format(l1,l2))
```

```
while n==1:
```

```
try:
```

```
temp=float(input(mensaje))
```

```
while temp<l1 or temp>l2:
```

```
print(" Los datos obtenidos no entran dentro de los límites estudiados (por favor
entre {} y {}). ".format(l1,l2))
```

```
break
```

```
else:
```

```
break
```

```
except:
```

```
ValueError
```

```
print("Tiene que ser un número")
```

```
else:
```

```
digestor.append(temp)
```

```
return sol
```

```
#Repito este proceso con el resto de datos pedidos.
```

```
print(Comp(" - Indique la temperetura alcanzada por el digestor: ",36,60," - Temperatura
CORRECTA - "))
```

```
print(Comp(" - Introduzca el tiempo de retención hidráulico obtenido: ",23,1000," - Tiempo de
retención hidráulico CORRECTA - "))
```

```
print(Comp(" - Indique la cantidad de pH obtenido: ", 6.5, 7.5, " - Medición de pH es
CORRECTA - "))
```